

伝統的な漆芸に用いられる燻煙乾燥が木材物性に与える影響^{*1}

石栗 太^{*2}, 飯塚和也^{*2}, 横田信三^{*2}, 吉澤伸夫^{*2}

Effects of Smoke Drying in Traditional Lacquer Work on the Physical Properties of Wood^{*1}

Futoshi ISHIGURI^{*2}, Kazuya IIZUKA^{*2},
Shinso YOKOTA^{*2} and Nobuo YOSHIKAWA^{*2}

The objective of the present study is to clarify the effects of smoke drying, this method of which has been used for drying plain wood for making lacquer ware, on wood property. Logs 35 cm in length were smoke-dried for 30 to 90 days. After drying, moisture content (MC), equilibrium moisture content (EMC), relative degree of crystallinity (RDC) of cellulose, mean shrinkage at 1% MC decrease, and static bending property and impact bending properties were investigated. During smoke drying for 90 days, mean and maximum temperature inside the treatment chamber were 33°C and 58°C, respectively, while mean and maximum temperature inside the log were 30°C and 45°C, respectively. Heartwood and sapwood showed almost the same MC of about 10%. There were no significant differences in EMC and RDC between naturally dried wood and smoke-dried wood. Mean shrinkage at 1% MC decrease in the radial and tangential directions of smoke-dried wood showed low values compared to those of naturally dried wood. In addition, specific Young's modulus in static bending increased with increasing duration of smoke-drying. These results suggest that decreased shrinkage in the radial direction and increased specific Young's modulus in static bending may result in increased quality of plain wood for lacquer ware.

Keywords: smoke drying, plain wood, lacquer ware, shrinkage, specific Young's modulus.

本研究では、漆器木地作製において実際に使用されている燻煙乾燥が木材の物性に及ぼす影響を明らかにするため、長さ35 cm のスギ丸太を30日、60日及び90日間燻煙乾燥した。90日間の燻煙乾燥中の処理室及び材内の平均温度は、33℃及び30℃であった。含水率は、燻煙乾燥90日後において、心、辺材ともに約10%の値を示した。平衡含水率及びセルロース相対結晶化度は、天然乾燥材と燻煙乾燥材の間に有意な差は認められなかった。一方、含水率1%あたりの平均収縮率は、半径及び接線方向のいずれにおいても、天然乾燥材よりも燻煙乾燥材においてわずかに小さい値を示した。また、燻煙乾燥日数の増加に伴って、比曲げヤング率の向上が認められた。これらの結果から、比較的低温で長時間の燻煙乾燥による木材の収縮率の減少及び比ヤング率の増加が、漆器木地の品質の向上に影響を及ぼしていることが示唆された。

1. 緒 言

燻煙乾燥とは、乾燥室内に燃焼炉を設け、枝条や

木屑を燻らせて発生した煙を直接木材へあてて木材を乾燥させたり、中央に溝を掘り、その中に鋸屑を詰め急激に燃焼しない様に水分を与えて徐々に燻煙して木材を乾燥するもの、あるいは室外において鋸屑等を燃焼し、土管を通して室内に煙を導くことによって木材を乾燥させる方法のことである¹⁾。この燻煙乾燥は、利点として燃料が節約できること、設備が容易であること、操作が簡単であることが挙げられ²⁾、小規模な木工や工芸分野において行なわれ

^{*1} Received May 18, 2007; accepted July 30, 2007. 本研究の一部は第51回日本木材学会大会(東京, 2001年4月)において発表した。

^{*2} 宇都宮大学農学部 Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan

てきた²⁻⁴⁾。

漆器椀木地に求められる木材の材質特性は、第一に、乾燥及び吸湿に伴う寸法変化が小さいことである⁵⁻⁶⁾。従って、木地の作製においては、使用する木材を十分に乾燥することが求められる⁵⁻⁶⁾。この漆器作製における木地の乾燥として、古くから燻煙乾燥が用いられてきており⁶⁾、現在でも、技能者が経験的に信頼を寄せているケースがある⁷⁾。森⁸⁾は、ブナ材を燻煙乾燥及び換気式蒸気乾燥した結果、両者の間に強度的性質の差は認められないが、収縮率については、燻煙乾燥材の方が小さい値を示したことを報告し、このため、漆器木地や楽器用材のような製作上特に狂い及び反りが嫌われる物の乾燥に燻煙乾燥が用いられてきたことを指摘している。しかしながら、漆器木地に用いられている燻煙乾燥が材質に及ぼす影響については、不明な点が多く、また、椀木地作製技能者の燻煙乾燥に寄せる信頼に対する科学的な調査を行なった例は少ない。

本研究では、我が国の漆器の産地の1つである石川県輪島市において実際に輪島塗の漆器椀木地作製で使用されている燻煙乾燥炉を用いて、燻煙乾燥が木材の材質に及ぼす影響について調査した。

2. 材料と方法

供試材には、栃木県鹿沼産、末口直径約20 cm、長さ3 mのスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 丸太を用いた。この丸太から、連続して長さ35 cmの丸太を7つ採取した (Fig. 1)。採取した7つの丸太は、燻煙乾燥による物性の変化を調査するために、3丸太ずつ、天然乾燥及び燻煙乾燥 (それぞれ、乾燥期間を30, 60及び90日として各1丸太ずつ) 使用した。なお、残りの1つの丸太は、燻煙乾燥中の温度測定のために使用した。また、7つの丸太を採取した位置と連続した位置から厚さ3 cmの円盤を採取し、後述する手順と同様の方法で生材含水率を測定し、この値を燻煙乾燥前の含水率とした。

丸太の燻煙乾燥は、石川県輪島市垣地椀木地所の所有する燻煙乾燥炉を用いて行った (Fig. 2)。燃料には、椀木地製作中に生じるろくろ屑 (ケヤキ材) を用いて、1日1~2回供給した。また、火災の危険を低減させるため、ろくろ屑の上には灰を掛けて燃焼させた。丸太は、椀木地のケヤキ材と一緒に、燻煙乾燥炉の処理室の高さ約30 cmの位置に設置した。炉内温度は、丸太を設置した付近で1箇所測定した。また、丸太の材内温度は、温度測定用の丸太を用いて、丸太軸方向の中央部 (木口から17 cm) の表面から深さ9 cmの位置 (丸太の直径方向の中

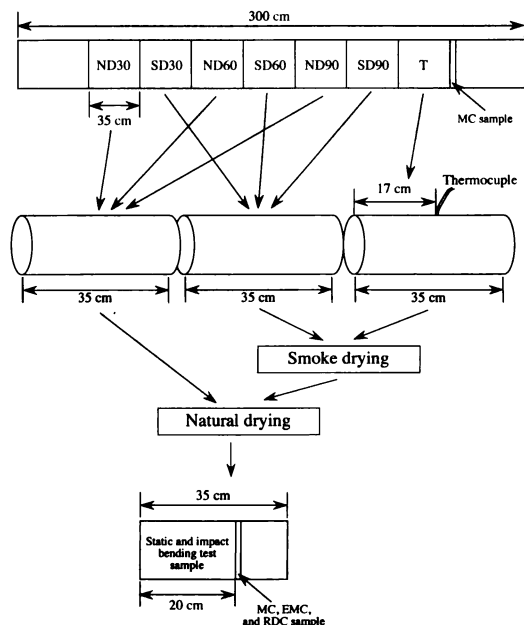


Fig. 1. Method of sample preparation.

Note: ND30, log of natural drying for 30 days; ND60, log of natural drying for 60 days; ND90, log of natural drying for 90 days; SD30, log of smoke drying for 30 days; SD60, log of smoke drying for 60 days; SD90, log of smoke drying for 90 days; T, log for measuring temperature within log; MC, moisture content; EMC, equilibrium moisture content; RDC, relative degree of crystallinity.

央部) で測定した (Fig. 1)。炉内温度及び処理中の丸太の材内温度は、熱電対 (CHINO, 銅-コンスタンタン熱電対) により測定し、データロガー (白山, LS-3000C) に記録した。燻煙乾燥期間は、2000年5月下旬から8月下旬に、30日、60日及び90日間として行なった。なお、得られた温度データから、それぞれの燻煙乾燥期間の平均値を算出した。また、いずれの燻煙乾燥丸太においても、燻煙乾燥終了後、物性を比較するための対照丸太と共に、空調設備のない実験室内において、気乾状態に達するまで天然乾燥 (2007年9月まで) を行なった (Fig. 1)。

含水率測定のために、天然乾燥材 (30, 60及び90日間) 及び各燻煙乾燥材 (30, 60及び90日間) の元口から20 cmの位置から厚さ3 cmの円盤を採取した (Fig. 1)。含水率は、円盤から中心角90°の扇形試験片を採取し心材と辺材に区分して全乾法により求めた。

平衡含水率は、天然乾燥材 (90日間) 及び各燻煙乾燥材の辺材から作製した42~80メッシュの木粉を用いて測定した。作製した木粉1.5 gを秤量瓶に入

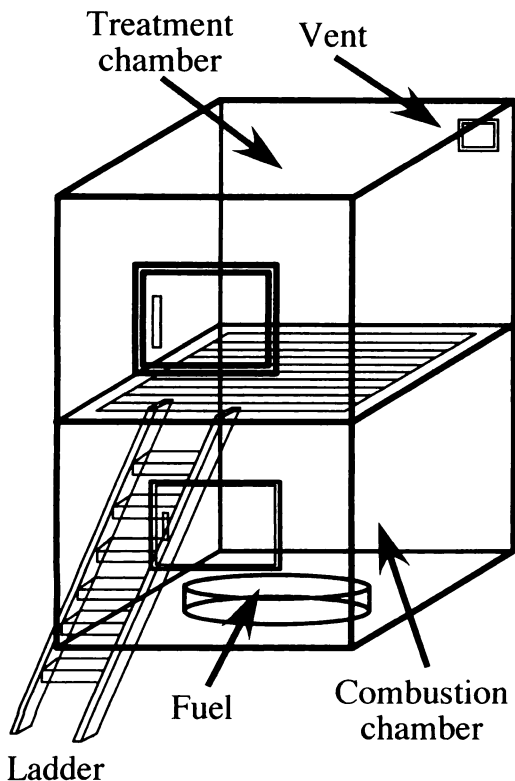


Fig. 2. Illustration of smoke-drying kiln used in this study.

れ、処理ごとに5本ずつ、飽和 NaCl 水溶液で RH 75% に調整したデシケーター中に約 1 カ月間放置し、平衡含水率を全乾法により算出した。

相対結晶化度測定のため、天然乾燥材（90日間）及び各燻煙乾燥材ごとに80～120メッシュの木粉を作製し、20℃、RH 65%の恒温恒湿室内で1週間調湿した。相対結晶化度は、X線回折装置（日本電子、JDX-12VA）を用いて、既報⁹⁾に準じて求めた。

収縮率測定のため、天然乾燥材（90日間）及び各燻煙乾燥材の辺材部より、30(R)×30(T)×5(L) mmの無欠点試験片を各10片、合計40片作製した。気乾状態及び全乾状態の2回について、あらかじめ試験片の木口面に記した測定基準線をマイクロメータにより測定した。得られた基準線の長さから、日本工業規格（JIS）Z2101-1994に準じて、含水率1%あたりの平均収縮率を求めた。

静的及び衝撃曲げ試験には、7(R)×7(T)×140(L) mmの試験片を、天然乾燥材（90日間）及び各燻煙乾燥材ごとに辺材より15本ずつ、合計120本作製して使用した。試験片は、飽和 NaCl 水溶液の入ったデシケーター内で調湿して、含水率を約14%に調製

し、実験に供した。曲げ試験は、万能材料試験機（東洋ボールドウィン、UTM-III-500）を用いて行った。スパン120 mm、荷重速度2 mm/min、まさ目面中央集中荷重方式で得た荷重-たわみ曲線から、最大荷重、比例限度荷重及び比例限度たわみを求め、曲げ強さ及び曲げヤング率を求めた。衝撃曲げ試験は、容量6.6 Jを持つシャルピー型衝撃試験機（東洋工業製作所）を用いて、荷重面をまさ目面としてスパン65 mm、ハンマーの持ち上げ角124°で行った。得られた値から衝撃曲げ吸収エネルギーを算出した。

3. 結果と考察

Fig. 3 に、燻煙乾燥中の処理室及び丸太材内温度の変化を示す。また、燻煙乾燥中の処理室内及び材内の平均及び最高温度を Table 1 に示す。90日間の燻煙乾燥中、処理室内の平均及び最高温度は、それぞれ、33℃及び58℃であった。また、材内温度の平均及び最高は、それぞれ、30℃及び45℃であった。今回の実験は、5月下旬から開始したため、後半の7月及び8月においては、外気の気温の上昇と共に、処理室温度も若干上昇している傾向が認められた。

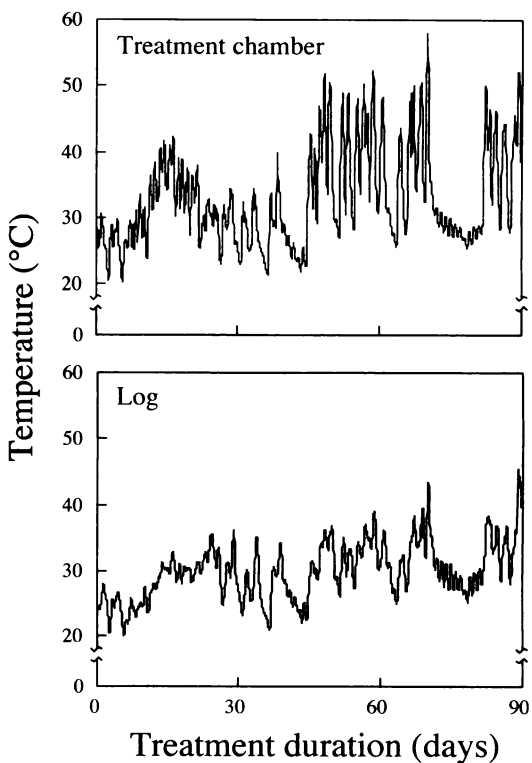


Fig. 3. Changes of temperature inside the treatment chamber and log during smoke drying.

Table 1. Mean and maximum temperature of treatment chamber and log during smoke drying.

Treatment duration (days)	Temperature (°C)			
	Treatment chamber		Log	
	Mean	Maximum	Mean	Maximum
30	30.6	42.4	28.0	36.2
60	31.9	52.3	28.8	39.0
90	33.1	58.0	30.0	45.3

含水率の変化を Fig. 4 に示す。実験開始時の含水率は、心材及び辺材でそれぞれ、88.8%及び223.3%であった。心、辺材共に、乾燥期間の増加に伴って、減少する傾向を示した。乾燥期間が30日の場合、天然乾燥材と燻煙乾燥材の間に大きな差は認められなかったが、60日では、心、辺材共に燻煙乾燥材の方が約20%低い値を示した。最終的に、燻煙乾燥90日においては、含水率は、心、辺材でそれぞれ、10.8%及び11.1%を示した。乾燥開始後90日目の含水率について、天然乾燥材と燻煙乾燥材を比較すると、天然乾燥材では、心、辺材共に約20%を示したが、

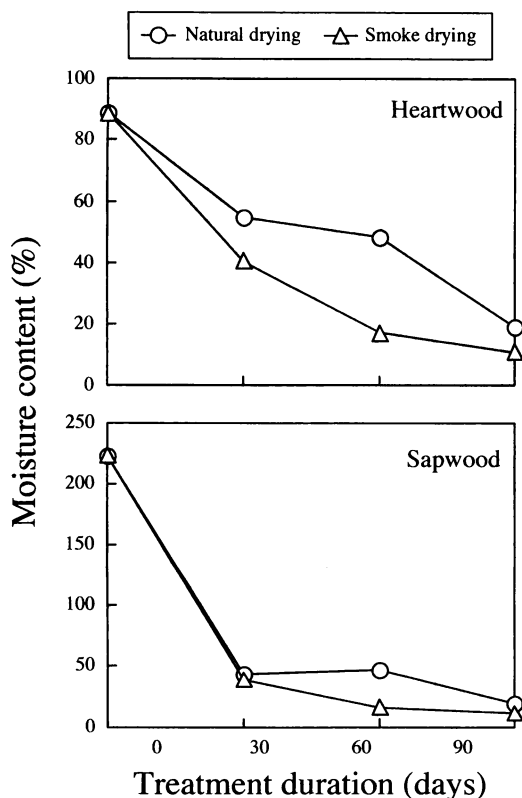


Fig. 4. Changes in moisture content by natural drying and smoke drying.

燻煙乾燥材では、約10%を示した。我が国においては、屋外に置かれた木材の平衡含水率は15%であることが知られているが³⁾、燻煙乾燥材では、その値を下回っていた。このことから、燻煙乾燥によって、天然乾燥では得ることの出来ない仕上がり含水率を得ることが可能であることが明らかとなった。一方、桧木地作製後の狂いの低減においては、平衡含水率が関係している可能性があるため、平衡含水率を測定した (Table 2)。しかしながら、平衡含水率は、いずれも13~14%の間を示しており、乾燥日数を要因とした一元配置の分散分析の結果、有意差は認められなかった。一般に、木材を加熱処理した場合、セルロースの結晶化度の増加により、平衡含水率が減少することが指摘されている⁹⁻¹⁰⁾。本研究においては、Table 2 に示したように、セルロースの相対結晶化度は、乾燥日数の違いにより有意な差は認められなかった。これは、Fig. 3 に示したように、今回行なった燻煙乾燥が比較的低い温度で行なわれたことによるものと考えられる。

含水率1%あたりの平均収縮率を Table 3 に示す。乾燥日数を要因とした一元配置の分散分析を行なった結果、半径方向及び接線方向共に有意差が認められた。半径方向においては、燻煙乾燥日数が増加するにつれて、含水率1%あたりの平均収縮率は減少した。また、接線方向においては、いずれも天然乾燥材と比較して、含水率1%あたりの平均収縮率は減少する傾向を示したが、半径方向において認められたような乾燥日数の増加に伴う減少傾向は認められなかった。一方、平均収縮率を測定した試験片の密度においては、乾燥日数を要因とした一元配置の分散分析の結果、有意差が認められた。しかしながら、半径方向において最も低い平均収縮率を示した試験片において平均試験片密度が高い値を示した。このことから、本実験における含水率1%あたりの平均収縮率に及ぼす試験片密度の影響は少ないもの

Table 2. Changes of EMC and RDC by smoke drying.

Treatment duration (days)	EMC		RDC	
	Mean	SD	Mean	SD
0	13.9	0.9	34.8	1.9
30	13.4	0.5	34.1	2.4
60	13.5	1.1	33.9	2.6
90	13.7	1.0	35.3	2.1
Significance	ns		ns	

Note: EMC, equilibrium moisture content; RDC, relative degree of crystallinity; SD, standard deviation; ns, no significance.

Table 3. Mean shrinkage at 1% wood moisture content decrease in smoke-dried wood.

Treatment duration (days)	Density (g/cm ³)		Radial direction		Tangential direction	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0	0.321	0.002	0.120	0.010	0.293	0.017
30	0.334	0.004	0.111	0.006	0.280	0.006
60	0.322	0.003	0.109	0.005	0.275	0.013
90	0.335	0.005	0.105	0.007	0.286	0.016
Significance	*		**		*	

Note: SD, standard deviation; *, significance at 5% level; **, significance at 1% level.

と考えられる。このように、燻煙乾燥材において、天然乾燥材と比較して、含水率1%あたりの平均収縮率、特に半径方向においてわずかが統計的に有意な差が認められた。しかしながら、収縮率の減少の原因については明らかでなく、今後、さらに詳細に検討する必要がある。

Table 4に、静的曲げ試験の結果を示す。乾燥日数を要因とした一元配置の分散分析を行なった結果、静的曲げヤング率及び曲げ強さの値に有意な差は認められなかった。また、密度において有意差が認められたため、比曲げヤング率及び比曲げ強さを求めた。その結果、比曲げ強さにおいては、有意差は認められなかったが、比曲げヤング率については、乾燥日数の増加と共に増加する傾向が認められた。一般に、加熱処理を行なうことによって、ヤング率が増加することが知られている¹¹⁻¹⁴⁾。本研究においては、Table 1に示したように、特に90日間燻煙乾燥した丸太においては、燻煙乾燥日数が30及び60日の丸太と比較して材内の平均温度及び最高温度が高い傾向を示し、このことが比ヤング率の増加に影響を与えているのかもしれない。一方、加熱処理によるヤング率の増加は、セルロースの結晶化度の増加により生じると考えられている¹²⁻¹⁴⁾。反対に、小幡谷ら¹⁵⁾は、熱処理材の比動的ヤング率が無処理材のそれよりも、同じ含水率で比較した場合、明らかに低いことを示し、この原因として、熱処理によっ

てセルロースが再結晶化した場合でも、熱処理に伴う非晶成分の分解によって、細胞壁のヤング率が低下することを挙げている。本研究においては、Table 2に示したように、セルロースの相対結晶化度の増加は認められなかった。また、曲げ試験片の含水率は、いずれも約14%に調製した。そのため、密度及びセルロース結晶化度以外の何らかの要因が燻煙乾燥による比曲げヤング率の増加に影響していると考えられ、今後は、この点について詳細に検討する必要がある。

Table 5に、衝撃曲げ試験の結果を示す。乾燥日数を要因とした一元配置の分散分析を行なった結果、衝撃曲げ吸収エネルギー及び比衝撃曲げ吸収エネルギーにおいては、有意差は認められなかった。一般に、衝撃曲げ吸収エネルギーは、加熱処理によって減少することが知られている¹⁶⁾。本研究では、90日間という長期間ではあるが、90日間の燻煙乾燥中の材内平均及び最高温度は30℃及び45℃と低い値であったために、衝撃曲げ吸収エネルギー値に変化が認められなかったと考えられる。

4. ま と め

本研究では、漆器碗木地作製において実際に使用されている燻煙乾燥が木材の物性に及ぼす影響を明らかにするため、長さ35 cmのスギ丸太を30～90日間燻煙乾燥した。得られた結果は以下の通りである。

Table 4. Changes of static bending properties by smoke drying.

Treatment duration (days)	Density (g/cm ³)		MOE (GPa)		MOR (MPa)		Specific MOE		Specific MOR	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0	0.389	0.015	7.64	0.60	68.0	9.8	19.65	1.61	175.0	25.9
30	0.376	0.010	7.38	0.76	65.6	8.6	19.66	2.12	174.7	24.4
60	0.375	0.015	7.74	0.68	66.4	11.3	20.64	1.32	176.5	25.7
90	0.377	0.010	7.97	0.73	65.3	10.5	21.11	1.47	173.0	25.5
Significance	*		ns		ns		*		ns	

Note: MOE, modulus of elasticity in static bending; MOR, modulus of rupture in static bending; SD, standard deviation; *, significance at 5% level; ns, no significance.

Table 5. Changes of impact bending properties by smoke drying.

Treatment duration (days)	Density (g/cm ³)		U (J/cm ²)		Specific U	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0	0.381	0.026	2.296	0.448	6.037	1.321
30	0.381	0.016	2.513	0.383	6.589	0.925
60	0.374	0.016	2.608	0.592	6.974	2.501
90	0.384	0.017	2.636	0.455	6.858	1.228
Significance	ns		ns		ns	

Note: U, absorbed energy in impact bending; SD, standard deviation; ns, no significance.

- 1) 90日間の燻煙乾燥中の処理室及び材内の平均温度は、33℃及び30℃であった。また、最高温度は、処理室及び材内でそれぞれ、58℃及び45℃であった。
- 2) 燻煙乾燥を90日間行なった結果、心、辺材の含水率は共に約10%に減少し、天然乾燥により得られる値を下回っていた。
- 3) 平衡含水率及びセルロースの相対結晶化度は、天然乾燥材と燻煙乾燥材の間に有意な差は認められなかった。
- 4) 含水率1%あたりの平均収縮率は、半径方向及び接線方向ともに、天然乾燥材と燻煙乾燥材の間に有意差が認められた。
- 5) 静的曲げ物性及び衝撃曲げ物性においては、比曲げヤング率を除いて、天然乾燥材と燻煙乾燥材の間に有意差は認められなかった。一方、比曲げヤング率においては、乾燥期間の増加に伴って、値が増加する傾向が認められた。

謝 辞

燻煙乾燥にご協力頂いた、石川県輪島市垣地榎木地所、垣地広志氏に感謝致します。また、相対結晶化度の測定にご協力頂いた、東京農工大学農学部教授伏谷賢美氏(現名誉教授)に感謝致します。なお、本研究は、科学研究費補助金(特別研究員奨励費, No. 00004799)によって行なわれたことを付記して感謝致します。

文 献

- 1) 松本文三：“木材乾燥法”，工業図書，東京，1942，pp. 1-392.
- 2) 鈴木太郎：家具と木工 16, 13-14 (1951).
- 3) 寺澤 眞：“木材乾燥のすべて”，海青社，天津，1994，pp. 1-718.
- 4) 奥山 剛：“最新木材工業事典”，最新木材工業事典出版委員会編，日本木材加工技術協会，東京，1999，pp. 102-103.
- 5) 比留間重次郎，望月泰男：林業試験場報告 No. 13, 103-128 (1915).
- 6) 澤口悟一：“日本漆工の研究”，丸善，東京，1933，pp. 1-717.
- 7) 石栗 太，丸山さおり，吉澤伸夫，横田信三：第51回日本木材学会大会研究発表要旨集，東京，2001，p. 625.
- 8) 森 三郎：林業試験彙報 No. 36, 113-120 (1934).
- 9) Ishiguri, F., Matsui, M., Yokota, S., Yoshizawa, N.: *Wood and Fiber Sci.* 35 (4), 585-593 (2004).
- 10) Tejada, A., Okuyama, T., Yamamoto, H., Yoshida, M.: *Forest Prod. J.* 47 (9), 86-93 (1997).
- 11) 小原二郎，岡本 一：木材学会誌 1 (2), 80-84 (1955).
- 12) Hirai, N., Sobue, N., Asano, I.: *Mokuzai Gakkaishi* 18 (11), 535-542 (1972).
- 13) 中尾哲也，岡野 健，浅野猪久夫：木材学会誌 29 (10), 657-662 (1983).
- 14) Kubojima, Y., Okano, T., Ohta, M.: *J. Wood Sci.* 44 (1), 73-77 (1998).
- 15) 小幡谷英一，則元 京，富田文一郎：木材学会誌 46 (2), 88-94 (2000).
- 16) 北原覚一，中元寺昌之：日本林学会誌 33 (12), 414-419 (1951).